УДК 004.85:004.8

# МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Козловський О. А.[1]; Іванчук Я. В., д.т.н., проф.[2]; Хоменко М. М.[3]
[1,2,3] Вінницький національний технічний університет
[1,2,3] Україна, Вінниця
[1] ak@vin.ua; [2]ivanchuck@vntu.edu.ua; [3]mashahom11@gmail.com

***Анотація.*** *Розглянуто методи та засоби автоматизації процесів машинного навчання, предметом яких є спільний вибір алгоритму й оптимізація гіперпараметрів. Показано узагальнення цієї задачі до автоматизованого пошуку архітектури моделей. Систематизовано три парадигми пошукової стратегії: байєсівські, еволюційні методи та методи навчання з підкріпленням. Проаналізовано обмеження відомих методів: значні обчислювальні витрати, складність роботи з умовними просторами пошуку та одноразовість результатів пошуку.*
***Ключові слова:*** *автоматизація машинного навчання; оптимізація гіперпараметрів; пошук архітектури; навчання з підкріпленням.*

**Вступ.** Побудова ефективних моделей машинного навчання (МН) передбачає вибір відповідного алгоритму, визначення його архітектури та оптимізацію гіперпараметрів. Зі зростанням складності моделей виконання цих завдань потребує дедалі більших часових та обчислювальних ресурсів [1]. У зв'язку з цим актуальним напрямом розвитку методів МН є автоматизація процесів побудови моделей (АМН), що забезпечує спільний вибір алгоритму та оптимізацію його гіперпараметрів. Застосування такого підходу дає змогу зменшити трудомісткість розроблення моделей та залежність їхньої якості від експертних знань і досвіду розробника.

Наявні підходи до автоматизації МН мають низку обмежень. Зокрема, застосування байєсівської оптимізації ускладнюється в умовних просторах пошуку, де конфігурації моделей відрізняються структурою та розмірністю [2]. Методи на основі навчання з підкріпленням характеризуються значними обчислювальними витратами [3] та обмеженою стійкістю до змін гіперпараметрів [4]. Спільним недоліком більшості методів є необхідність повторної оптимізації за зміни простору пошуку або цільової задачі, що збільшує обчислювальні витрати [4]. Отже, актуальним залишається розроблення методів, які забезпечують високу якість моделей за прийнятних обчислювальних витрат і можливість повторного використання результатів оптимізації.

**Метою роботи** є систематизація методів і засобів автоматизації машинного навчання та визначення перспективних напрямів підвищення ефективності вибору моделей і оптимізації їхніх гіперпараметрів з урахуванням якості моделей, обчислювальних витрат і можливості повторного використання результатів оптимізації.

**Результати дослідження.** Автоматизація процесів машинного навчання – це сукупність методів і програмних засобів, що дозволяють без безпосередньої участі людини (або з мінімальною її участю) виконувати етапи побудови моделі МН: попередня обробка даних, конструювання й відбір ознак, вибір алгоритму навчання та його структури (архітектури), налаштування гіперпараметрів, а також оцінювання й формування ансамблю моделей [1].

Задачею АМН є спільний вибір алгоритму та оптимізація гіперпараметрів: $\left(A^*, \theta^*\right) = \arg\min_{A \in \bar{A},\, \theta \in \Theta_A} \mathbb{E}_{(Dtr,\, Dv)}[\mathscr{L}(A_\theta,\, D_{tr},\, D_v)]$, $A=\{A^{(1)}, \ldots, A^{(k)}\}$ – множина допустимих алгоритмів (типів моделей), $\Theta_A$ – простір гіперпараметрів, специфічний для алгоритму $A$, $\mathscr{L}$ – функція втрат (помилки) на валідаційній вибірці.

Якщо простір допустимих алгоритмів $A$ розширити з набору фіксованих алгоритмів до простору можливих структур моделі, тоді задача вибору алгоритму та налаштування його гіперпараметрів [2] узагальнюється до задачі автоматизованого пошуку архітектури моделей МН.

На схемі рисунку 1 представлено основні етапи автоматизації процесу МН, що охоплюють підготовку даних, інженерію ознак, вибір моделі та оптимізацію її гіперпараметрів. Послідовне виконання цих етапів забезпечує автоматизоване формування та налаштування моделей МН.

Сучасні методи оптимізації моделей МН охоплюють широкий спектр підходів, а саме []: повний перебір, випадковий пошук, байєсівська оптимізація, градієнтні та ЕМ, методи на основі навчання з підкріпленням, багаторукі бандити та мета-навчання.

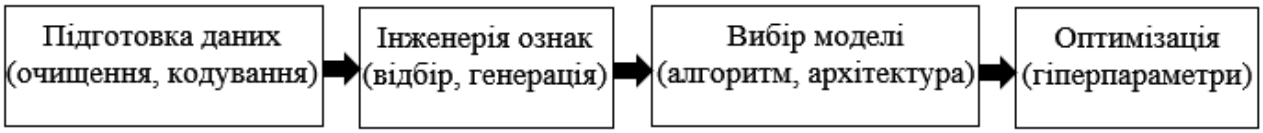



Рисунок 1 – Принципова схема автоматизації побудови моделі МН

Виділені два останні етапи на схемі (див. рис. 1) вибір моделі (алгоритму та її структури) та оптимізація гіперпараметрів – становлять предметну АМН.

Методи автоматизованого пошуку архітектури моделі МН, що є структурним узагальненням задачі оптимізації гіперпараметрів, можуть бути об’єднані у три концептуально відмінні парадигми пошукової стратегії: баєсівські методи, еволюційні методи, методи навчання з підкріпленням.

У межах підходу на основі навчання з підкріпленням задача пошуку архітектури формулюється як задача послідовного прийняття рішень: керуючий агент (контролер), як правило реалізований у вигляді рекурентної нейронної мережі [2], генерує опис архітектури як послідовність дій, а сигналом винагороди слугує точність навченої за цією архітектурою моделі на валідаційній вибірці.

**Висновки.** Проаналізовано методи АМН, спрямовані на спільний вибір алгоритму та оптимізацію його гіперпараметрів. Показано, що врахування можливих структур моделей узагальнює цю задачу до автоматизованого пошуку архітектур. Систематизовано основні підходи до такого пошуку: байєсівську оптимізацію, еволюційні методи та навчання з підкріпленням. Для останнього підходу задачу формалізовано як процес послідовного прийняття рішень, у якому контролер формує архітектуру моделі, а винагорода визначається її точністю на валідаційній вибірці. Визначено основні обмеження наявних методів: значні обчислювальні витрати, складність оптимізації в умовних просторах пошуку та обмежені можливості повторного використання результатів. Обґрунтовано перспективність досліджень, спрямованих на підвищення ефективності пошуку та забезпечення повторного використання його результатів.

**Використання інструментів ШІ**. Під час підготовки матеріалів тез використано велику мовну модель Claude Sonnet 5.5 (Anthropic) для перевірки орфографічних помилок та перекладу англійською; результати перевірено автором».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


[1] Shen, Z., Zhang, Y., Wei, L., Zhao, H., & Yao, Q. (2024). *Automated machine learning: From principles to practices* (arXiv:1810.13306). arXiv. https://arxiv.org/abs/1810.13306.

[2] Li, J., Liu, W., Xue, C., Zhan, Y., Wang, X., Liu, W., & Tao, D. (2025). Modeling all response surfaces in one for conditional search spaces. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 39*(17). https://doi.org/10.1609/aaai.v39i17.34016.

[3] Zoph, B., & Le, Q. V. (2017). Neural architecture search with reinforcement learning. *Proceedings of the 5th International Conference on Learning Representations (ICLR 2017)*. https://openreview.net/forum?id=r1Ue8Hcxg.

[4] Cassimon, A., Mercelis, S., & Mets, K. (2024). *Scalable reinforcement learning-based neural architecture search* (arXiv:2410.01431). arXiv. https://arxiv.org/abs/2410.01431.



Kozlovskyi O. A., Ivanchuk Y.V., Khomenko M. M.


**Methods and tools for automated machine learning**


***Abstract.*** *Methods and tools for automating machine learning processes are considered, the subject of which is the joint selection of an algorithm and hyperparameter optimization. The generalization of this problem to automated model architecture search is shown. Three paradigms of search strategy are systematized: Bayesian methods, evolutionary methods, and reinforcement learning methods. The limitations of known methods are analyzed: high computational costs, difficulty of handling conditional search spaces, and the one-off nature of search results.*



***Keywords:*** *automated machine learning, hyperparameter optimization, architecture search, reinforcement learning.*